

# Deutsche Luftfahrtforschung

Forschungsbericht Nr. 829

*Hohe Auspuffgeschwindigkeiten beim Raketenantrieb*  
*E. Sänger*

Verfaßt bei

Deutsche Forschungsanstalt für Luftfahrt, E. V.  
Braunschweig



Einnahmestempel - No. *11*  
*28.2.38/6.*

Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen bei  
der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E. V.,  
Berlin-Adlershof. / Fernruf: 63 82 11

## Hohe Auspuffgeschwindigkeiten beim Raketen- antrieb

Übersicht: Die folgenden Überlegungen zum Auspuffgeschwindigkeitsproblem gehen von einer Reihe gesicherter Kenntnisse der Raketenflugtechnik aus, verlassen diesen sicheren Boden jedoch, um einen Ausblick auf die ferneren gangbaren und Erfolg versprechenden Wege der Raketenforschung auf diesem Sondergebiet zu gewinnen.

Die zum Teil weitab von unseren Erfahrungsbereichen laufenden Überlegungen führen zu folgenden Schlüssen:

Alle, und besonders die flugtechnischen Anwendungen des Raketenantriebes fordern höhere Auspuffgeschwindigkeiten.

Die Mittel dazu sind: Benutzung besonders energiereicher Kraftstoffe, hohe Feuergas-temperaturen und hohe Feuergasdrücke im Ofen.

Praktische Grenzen für die Anwendung dieser Mittel ergeben sich aus der thermischen und mechanischen Beanspruchung des Raketenmotors, doch liegen diese Grenzen so hoch, dass Auspuffgeschwindigkeiten bis über 5000 m/s möglich werden müssen.

- Gliederung:
1. Flugtechnische Bedeutung hoher Auspuffgeschwindigkeiten.
  2. Einfluss von Kraftstoffwahl, Temperatur und Druck auf die Auspuffgeschwindigkeit.
  3. Bereich baulich beherrschbarer Temperaturen und Drücke.

Der Bericht umfasst:

28 Seiten mit  
5 Abbildungen

Deutsche Forschungsanstalt für Luftfahrt E.V.,  
Braunschweig

gez.: E. Sänger

Braunschweig, 18.11.1936

1) Flugtechnische Bedeutung hoher Auspuffgeschwindigkeiten

Bei allen Anwendungen des Raketenantriebes werden hohe Auspuffgeschwindigkeiten begrüßt, solange sie nicht mit besonderen Unbequemlichkeiten verbunden sind, weil die für gleichen Schub und gleiche Wirkungsdauer erforderliche Kraftstoffladung mit erhöhter Auspuffgeschwindigkeit kleiner wird.

In der Raketenflugtechnik haben diese Verhältnisse noch viel einschneidendere Bedeutung, da die Reichweite der reinen Raketen-Fernflugzeuge bei geringen Auspuffgeschwindigkeiten ungenügend ist, jedoch zunächst mit dem Quadrat und später noch rascher mit der Auspuffgeschwindigkeit wächst.

Für die Reichweiten bis etwa 5000 km überblickt man diesen wichtigen Zusammenhang sehr leicht, wenn während des verhältnismässig kurzen, stark beschleunigten Aufstieges des Raketenflugzeuges von den nicht sehr großen Einflüssen des Luftwiderstandes und der Erdschwere abgesehen wird, sodaß für den Zusammenhang zwischen Fluggeschwindigkeit  $v$ , Auspuffgeschwindigkeit  $c$ , Anfangsgewicht  $G_0$  und augenblicklichem Fluggewicht  $G$  die einfache, sogenannte Raketen-grundgleichung

$$\frac{G_0}{G} = e^{v/c}$$

gilt, also

$$v = c \ln \frac{G_0}{G}$$

ist, und wenn man weiter beachtet, dass die am Ende des Aufstieges gewonnene kinetische Energie des Flugzeuges  $Gv^2/2g$  auf der sehr langen, absteigenden Gleitbahn in Arbeit gegen den Luftwiderstand umgesetzt werden muss, die bei einer Gleitzahl des Flugzeuges  $\xi$  und einer Weglänge  $s$  gleich wird  $G \cdot \xi \cdot s$ .

Aus der Gleichsetzung dieser Transportarbeit mit der kinetischen Energie zu Beginn des Abstieges folgt als einfache Näherungsgleichung:

$$s = \frac{c^2 \cdot \ln^2 G_0/G}{2g\epsilon} \dots\dots\dots(1)$$

Daraus können die wichtigsten Einflüsse auf die, den Raketenflugtechniker am brennendsten interessierende Reichweite  $s$  abgelassen werden.

Mit der Erdbeschleunigung  $g$  müssen wir uns als naturgegebener Konstanten abfinden, die in dem gesamten Höhenbereich des Raketenfluges praktisch unveränderlich ist.

Der Einfluss der Gleitzahl  $\epsilon$  ist unter allen Veränderlichen am geringsten, über die möglichen Werte der Gleitzahl sind sich die zuständigen Fachleute, in diesem Fall die Gasdynamiker, noch nicht ganz einig.

Stärker ist der Einfluss des Ladeverhältnisses  $G_0/G$ , um dessen Verbesserung sich hauptsächlich unsere Flugzeugbauer und Statiker bemühen müssen. Ausser durch das geringstmögliche Leergewicht eines Raketenflugzeuges von gegebenem Startgewicht ist  $G_0/G$  auch noch durch die jeweils zu tragende Nutzlast ziemlich festgelegt.

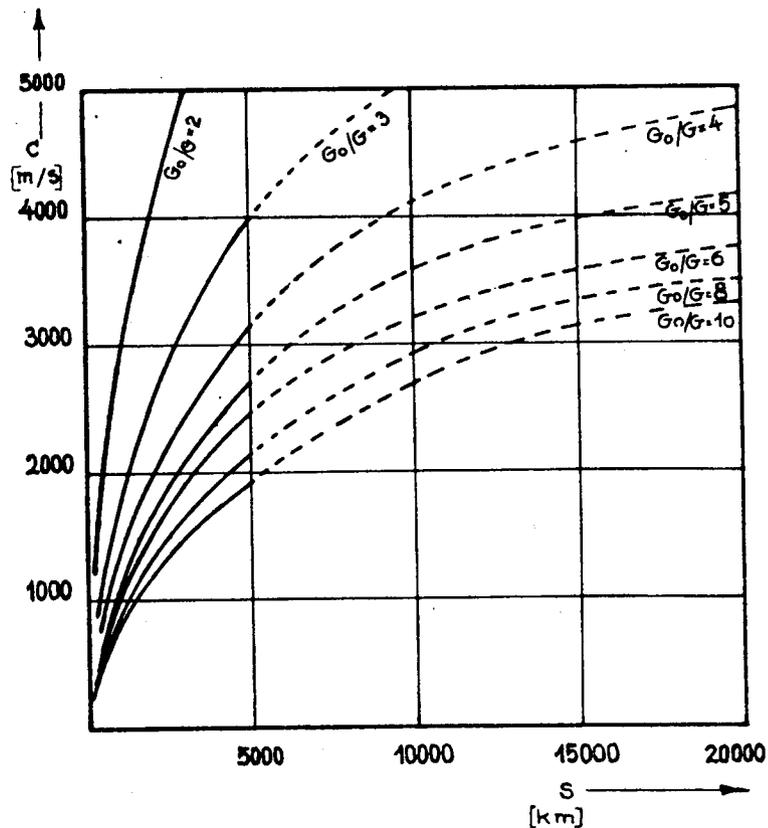
Den weitaus stärksten Einfluss nimmt die Auspuffgeschwindigkeit  $c$ , deren Verbesserung in das eigenste Arbeitsgebiet des Raketenflugtechnikers fällt und die selbst zunächst auch am stärksten beeinflussbar ist, sodass sie mit einigem Recht im Interessenmittelpunkt der Raketenflugtechnik steht.

Für Reichweiten über etwa 5000 km erhalten die höchst auftretenden Fluggeschwindigkeiten Werte von 4500 m/s, sodass während des Gleitfluges eine merkbare Entlastung der Flügel durch die Fliehkraftwirkung der zur gekrümmten Erdoberfläche näherungsweise parallelen Flugbahn eintritt. In ähnlichem Maß, wie mit wachsender Fluggeschwindigkeit der von den Flügeln getragene Gewichtsanteil sinkt, kann auch der Luftwiderstand kleiner gehalten werden, sodass diese Fliehkraftentlastung zu einer entsprechenden Streckung der Abstiegsbahn führt, bis im Grenzfall, wenn die Fluggeschwindigkeit gleich der zirkulären Geschwindigkeit von 7900 m/s würde, das Flugzeug dauernd um die Erde kreist, ohne der Tragflügel noch zu bedürfen, also die Länge der Abstiegsbahn unend-

lich geworden ist.

In Abb.1 ist die obengenannte Näherungsbeziehung zwischen  $s$  und  $c$  für verschiedene  $G_0/G$  stark eingetragen, und zwar unter der willkürlichen Annahme  $\epsilon = 0,2$ . Für Reichweiten über 5000 km sind die Kurven strichliert nach einer Bahnberechnung eingetragen, die auch die Fliehkraftentlastung berücksichtigt.

Abb.1 lässt die mit der Auspuffgeschwindigkeit ausserordentlich rasch anwachsenden Reichweiten  $s$  erkennen



**Abb.1** Zusammenhang zwischen Reichweite  $s$ , Auspuffgeschwindigkeit  $c$  und Ladeverhältnis  $G_0/G$  für  $\epsilon = 0,2$

Gegenüber der Reichweite sind die übrigen Flugleistungen des Raketenflugzeuges, wie Fluggeschwindigkeit oder Flughöhe, weniger interessant, da sie zwangsläufig grösser ausfallen, als uns augenblicklich besonders lieb ist.